

Date: 23<sup>rd</sup> January-2025

## OPTIK REZONATORNING ELEMENTAR NAZARIYASI

Majidova Gulnora Husniddin qizi

G'ijduvon tuman 2-son politexnikumi fizika va astronomiya fani o'qituvchisi

**Annotatsiya:** Lazer nurini generatsiyalashda aktiv muhit va uni uyg'otish usullarining o'zini beqiyos, biroq generatsiyalanayotgan nurlanishning xarakteristikalariga ushbu aktiv muhit joylashtirilgan rezonans sistemasi — optik rezonator katta ta'sir ko'rsatadi. Agar rezonator bo'lmasa aktiv muhit undan o'tayotgan nurlanishni ixtiyoriy yo'nalishda kuchaytirish qobiliyatiga ega bo'ladi.

**Kalit so'zlar:** Optik rezonator, Rezonator, Lazer nuri, Aktiv muhit, Sferik rezonator, Halqa rezonatori, Rezonans, Lazer modasi

**Аннотация:** Роль активной среды и способов ее возбуждения в генерации лазерного света несопоставима, но на характеристики генерируемого излучения большое влияние оказывает резонансная система, в которой находится эта активная среда — оптический резонатор. Если резонатора нет, активная среда будет иметь возможность усиливать прошедшее через нее излучение в произвольном направлении.

**Ключевые слова:** Оптический резонатор, Резонатор, Лазерный свет, Активная среда, Сферический резонатор, Кольцевой резонатор, Резонанс, Лазерный режим.

**Abstract:** The role of the active medium and methods of its excitation in the generation of laser light is incomparable, but the characteristics of the generated radiation are greatly influenced by the resonance system in which this active medium is placed - the optical resonator. If there is no resonator, the active medium will have the ability to amplify the radiation passing through it in an arbitrary direction.

**Keywords:** Optical resonator, Resonator, Laser light, Active medium, Spherical resonator, Ring resonator, Resonance, Laser mode

### **Kirish.**

Ta'limning isloh qilinishidan asosiy maqsadlardan biri, avvalo ta'limning samaradorligi, o'qitishning va o'qishning, tushinishning osonligi va bilimlarning yashovchanligi kabi muammolar va prinsiplar barcha ta'lim ob'ektlari uchun bir xilda imkoniyatli bo'lishidir. "Iqtidorli" va "iqtidori sustroq" o'quvchilar shu vaqtgacha ta'limdagi "diferensatsiya" tufayli turlicha bilimlar, malaka va ko'nikmalarga ega bo'lib kelganlar. "Iqtidorli" va "iqtidori sustroq" o'quvchilarning farqlanishlarining bosh sababi esa fan asoslarining yetarli o'zlashtirilmagamligi va olingan minimal bilimlar yoki ma'lumotlarning yashovchan emasligidadir. Ilg'or pedagoglarning ish faoliyatida esa "iqtidorsiz" yoki "iqtidori sust" o'quvchilar tushunchasi deyarli barchasi mashg'ulotlardan ko'zda tutilgan malaka va ko'nikmalarni qoniqarli darajada egallaganlar. Ushbu maqolada fizik ta'limda eng katta muammolardan biri hisoblangan lazer nuri generatsiyasi - optik rezonatorlar nazariyasi, ularga doir mavzularning mazmuni va o'qitilishiga bag'ishlangan.



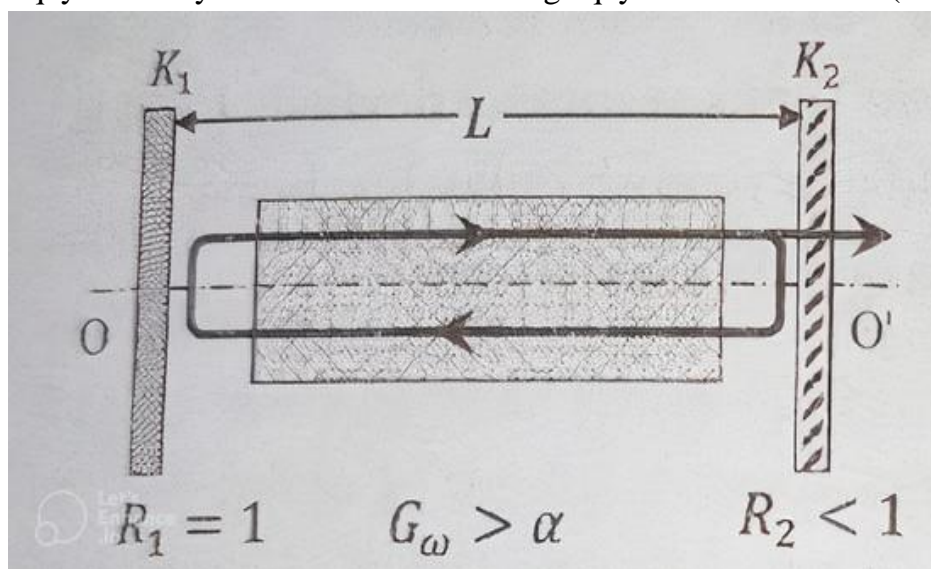
Date: 23<sup>rd</sup> January-2025

Optik rezanatorlar nazariyasi va ularga doir mavzularning mazmuni, ko'lemi va ilmiylik darajasi o'rta maxsus ta'lim tizimida foydalanilayotgan o'quv adabiyotlarida izchil yoritilmaganligi uchun uni o'qishda o'quvchilar va o'qitishda esa o'qituvchilar katta qiyinchiliklarga duch keladilar.

Respublikamiz mutaxassislar tayyorlashni davr talablari darajasida tashkil etishda yetarlicha ishlar olib borilayotganligiga qaramasdan, hozirgacha bir qator muammolar o'z yechimini topgani yo'q. Xususan, jahon andozalariga mos va raqobatbardosh, bilimli, malakali, kuchli mutaxassislarni tayyorlashga imkon beruvchi pedagogik shart – sharoitlarni yaratish, mazkur jarayonni metodik jihatdan to'g'ri tashkil etish, mutaxassislik fanlaridan kasbiy ta'lim va malakalarni shakllantiruvchi ilmiy – uslubiy qo'llanmalar ishlab chiqish kabi masalalarni shular qatoriga kiritish mumkin.

### Optik rezonatorda modalarning hosil bo'lishi

Optik rezonatorning asosiy vazifasi aktiv muhitdan kuchayib chiqqan signalining bir qismini yana qayta kuchaytirish uchun aktiv muhitga qaytarish hisoblanadi (1-rasm)



1-rasm

Bu ko'p martalik qaytarish — majburiy nurlanish rezonator ichidagi yo'qotishlardan ya'ni,  $G_\omega > \alpha$  katta bo'lmaguncha davom etadi. Shunday qilib, rezonator lazer nurini generatsiyalashda **musbat teskari bog'lovchi** vazifasini bajaradi. Ayni shu usul radiofizika elektr signali generatori ishlashini hosil qilishda kiritiladigan **musbat teskari bog'lanish zanjiri** asosida olingan.

Lazer nurining monoxromatik, kogerentlik, intensivlikning kesim bo'yicha taqsimlanishi, chiqish quvvati, fokal dog'ning minimal o'lchami, spektri kabi eng asosiy parametrlari bevosita optik rezonator orqali aniqlanadi. Shuning uchun biz uning ishlash prinsipi bilan to'liq tanishib amaliyotda lazer yaratilgunicha mazerlar uchun **yopiq hajmiy rezonatorlardan** foydalanilgan. Ammo yopiq hajmiy rezonatorlarni optik diapazonda nurlanish hosil qilish uchun qo'llab bo'lmaydi. Sababi, bu holatda rezonator hajmi  $V \sim \lambda^3 (mkm^3)$  ga proporsional bo'lib, aktiv muhit hajmini keskin cheklashga olib keladi va rezonatorning aslligi kamayadi. Lazer sistemasida asosan ochiq optik

Date: 23<sup>rd</sup> January-2025

rezonatorlardan keng foydalaniladi. **Ochiq optik rezonator** deganda yon tomonlari ochiq bo'lgan, ikki ko'zgudan iborat sistemaga aytiladi (1-rasm). Shuning uchun uning, yon tomonidan damlash energiyasini aktiv muhitga berish mumkin. Buning uchun ularning hajmi to'liq uzunligidan juda katta bo'lishi shart, ya'ni  $V \gg \lambda^3$ .

Ochiq optik rezonator *qaytaruvchi ko'zgulari* sifatida kerakli spektral diapazonga mo'ljallangan to'liq yoki qisman qaytaruvchi ko'zgular (metall yoki dielektrikli qaytaruvchi qoplamali), to'la ichki qaytaruvchi prizmalar, difraksion panjara, kristalning yon yoqlari va boshqalardan foydalaniladi. Ikkita qaytaruvchi ko'zgular orasidagi bo'shliq to'liq yoki qisman aktiv muhit bilan to'ldirilsa bunday rezonator "**aktiv**" optik rezonator, aks holda ya'ni aktiv muhit joylashtirilmasa "**passiv**" optik rezonator deyiladi. Odatda passiv optik rezonatorlamni nazariy jihatdan o'rganish qulay hisoblanadi.

Optik rezonatorning umumiy holda quyidagi turlari mavjud:

- yassi parallel rezonator;
- sferik rezonator;
- halqa rezonatori.

Rezonator ko'zgularining qaytarish koeffitsiyenti ko'pincha to'liq uzunligi  $\lambda$  ga sezilarli darajada bog'liq bo'lmaydi. Shu sababli ikki ko'zgu orasida ixtiyoriy to'liq uzunligiga ega bo'lgan yorug'liklar bo'lishi mumkin desa ham bo'ladi. Lekin, amalda bunday emas ekan.

Ideal rezonatorlarda ikki ko'zgu o'rtasida rezonatorning z o'qi bo'ylab o'ng tomonga tarqalayotgan to'liqning elektr maydoni quyidagicha bo'ladi

$$E = \frac{1}{2} e|u| \cos(\omega t - kz + \varphi(r)) \quad (1)$$

Ayni shu o'q bo'ylab chap tomonga tarqalayotgan elektr maydoni esa  $\pi$  teng faza siljishiga ega bo'ladi:

$$E = \frac{1}{2} e|u| \cos(\omega t + kz + \varphi(r) - \pi) \quad (2)$$

Bunda, e-birlik qutblanish vektori,  $|u|$ -kompleks funksiya maydonning rezonator bo'yicha fazoviy taqsimotini  $\varphi(r)$  bildiradi.

To'liqning magnit maydoni haqida ham shunga o'xshash ifodalarni yozish mumkin. Rezonatorlarda hosil bo'ladigan elektromagnit to'liq kogerent bo'lganligi va qat'iy bir yo'nalish (optik o'q bo'yicha) bo'yicha yo'nalganligi sababli superpozitsiyalanadi, bu esa optik rezonatorlarda faqat ma'lum bir chastotaga ega bo'lgan elektromagnit tebranishlargina *rezonans* berib, ikkilangan amplitudali **turg'un to'liq** hosil bo'lishiga olib keladi:

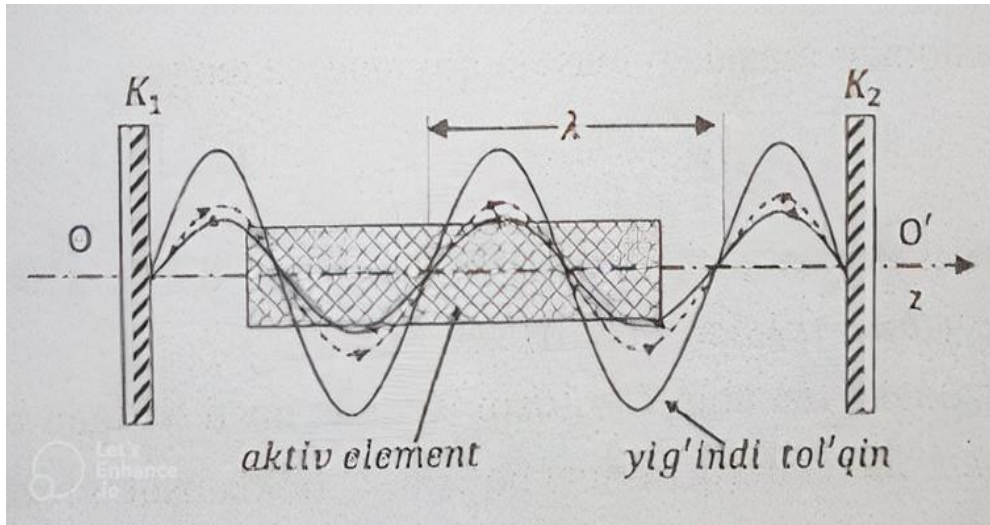
$$E = \frac{1}{2} e|u| \sin(\omega t + \varphi(r)) \sin kz \quad (3)$$

Ikki ko'zgu o'rtasida ikki to'liq tarqaladi: ko'zguna tushayotgan va ko'zgudan qaytayotgan. Qaytarish koeffitsiyenti 100% bo'lgan ( $R=1$ ) ideal ko'zgu bitta talabga javob berishi kerak — ko'zgu yuzasida yorug'lik tebranishlarining *amplitudasi nolga* teng bo'lishi kerak, aks holda yorug'likning bir qismi ko'zgudan o'tib ketadi va bu holda ko'zgu ideal bo'la olmaydi. Bu shart ikkinchi ko'zgu uchun ham bajarilishi kerak.



Date: 23<sup>rd</sup> January-2025

Bunday holda qaytgan yorug'lik fazasi tushayotgan yorug'lik fazasiga teng bo'lishi uchun ko'zgular o'rtasida butun songa teng yarim to'lqin uzunligi joylashgan bo'lishi kerak (2-rasm)



2-rasm

Boshqacha aytganda, quyidagi shart bajarilishi kerak

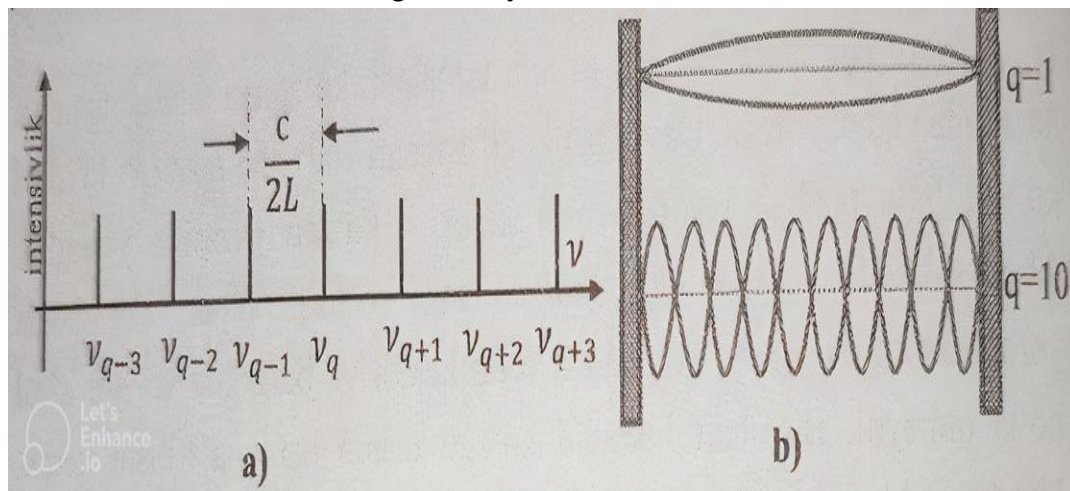
$$\frac{2L}{\lambda} = q \quad (4)$$

Bu yerda \$L\$-ko'zgular o'rtasidagi masofa, \$q=1, 2, 3 \dots\$ - butun son .

Demak, ko'zgular o'rtasidagi masofa \$L\$ bo'lsa, ular orasida to'lqin uzunligi (4) ifodaga bo'ysunadigan elektromagnit to'lqinlargina rezonans berishi mumkin ekan (3-rasm, \$q=1, q=10\$). Bu shart bajarilganda ikki ko'zgu o'rtasida elektr va magnit maydon kuchlanganliklari fazoviy taqsimlangan *kuchaygan turg'un to'lqin-lazer modasi* paydo bo'ladi. Bu turg'un to'lqinlarni rezonatorning chiqish elementlarida yo'qotishlar bo'lmasa aniqlash mumkin. Bunday to'lqinlarning *rezonans chastotasi* quyidagicha ifodalanadi:

$$\nu_q = \frac{c}{\lambda} = \frac{cq}{2L} \quad (5)$$

Bu chastotalar rezonatorning xususiy tebranish chastotalari deb ataladi (3-rasm).



3-rasm. Optik rezonatorning xususiy tebranishlar chastotalarining spektri (a) va turg'un elektr maydoni taqsimoti (b).

Qo'shni chastotalar orasidagi masofa quyidagiga teng :



Date: 23<sup>rd</sup> January-2025

$$\Delta v = v_q - v_{q-1} = \frac{c}{2L} \quad (6)$$

Bu shartlar bajarilishi natijasida hosil bo'lgan har bir turg'un to'lqin rezonatorning *bo'ylama (aksial) modasi* deb ataladi.

Agar to'lqin rezonator o'qiga nisbatan  $\theta$  burchak ostida tarqalayotgan bo'lsa, turg'un to'lqin paydo bo'lish sharti quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$L = \frac{\lambda \cos \theta}{2} q \quad (7)$$

Bunday to'lqin *ko'ndalang moda* deb ataladi va uning xususiy chastotasi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$v'_q = \frac{c \cos \theta}{2L} q \quad (8)$$

Rezonatorning asosiy vazifasidan biri energiya to'plash xususiyati bo'lganligi uchun, uning *aslligi* fizik jihatdan muhim ahamiyatga ega. Ochiq optik rezonatorning aslligini uning klassik ta'rifi ko'ra aniqlaymiz:

$$Q = \frac{v}{\Delta v_{rez}} = 2\pi v \frac{U_0}{P_n} \quad (9)$$

bu yerda  $\Delta v_{rez}$  - rezonator chastotasidagi nurlanish kengligi,  $U_0$  - rezonatorda to'plangan energiya,  $P_n$  - bir tebranish davrida rezonatorda yo'qotilgan quvvat.

Faraz qilaylik,  $K_1$  ko'zguning qaytarish koeffitsiyenti  $R_1 = 1$ ,  $K_2$  ko'zguning qaytarish koeffitsiyenti esa  $R_2 = R < 1$  qisman shaffof bo'lib, ma'lum bir nurlanishni o'tkazishga mo'ljallangan bo'lsin (1-rasm). Ma'lumki, nurlanish rezonator o'qi bo'ylab ikki tomonga tarqaladi, u holda bir tebranish davrida (siklida) rezonatorda to'planadigan energiya

$$U_0 = 2\rho V = 2 \frac{I}{c} * \pi a^2 L$$

Yoqotilgan quvvat esa:

$$P_n = I\pi a^2(1 - R)$$

ga teng bo'ladi, bu yerda  $a$  - ko'zgu radiusi,  $I$  - nurlanish intensivligi,  $\rho$  - nurlanish energiyasi zichligi

$$Q = \frac{4\pi v}{c} \frac{L}{1-R} = \frac{4\pi}{\lambda} L_{eff} = \frac{2\pi v}{\beta_{1c}} = 2\pi v \tau_{rez} \quad (10)$$

**Amaliyotda qanday konfiguratsiyaga ega bo'lgan rezonatorlar ko'p ishlatiladi:**

- yassi parallel rezonator ( $R_1 = R_2 = \infty$ ,  $g_1 = g_2 = 1$ );
- konfokal rezonator ( $R_1 = R_2 = R = L$ ,  $g_1 = g_2 = 0$ );
- konsentrik rezonator ( $R_1 + R_2 = L$ , yoki  $2R = L$ ,  $g_1 = g_2 = -1$ );
- simmetrik rezonator ( $g_1 = g_2$ );
- yarimkonfokal rezonator ( $R_1 = 2L$ ,  $R_2 = \infty$ ,  $g_1 = \frac{1}{2}$ ,  $g_2 = 1$ );
- turg'unmas teleskopik ( $g_1 = 1 - \frac{d}{R_1}$ ,  $g_2 = 1 - \frac{d}{d-2R_1}$ ).

**Xulosa**

Maqola orqali optik rezonatorlar ahamiyati, tuzilishi, vazifasi, turlari, optik



Date: 23<sup>rd</sup> January-2025

rezanatorlar modalari, generatsiya kuchayishi va yo‘qotishlarinig nisbati haqida ilmiy tajribalarni bilib oldik. Va ishimiz orqali quyidagi xulosalarni olishimiz mumkin. Bunda optik rezonatorlar sistemasi lazer nurini generatsiyalashda muhim ahamiyatga ega. Optik rezonatorlarning asosiy vazifasi esa aktiv muhitdan kuchayib chiqqan signalining bir qismini yana qayta kuchaytirish uchun aktiv muhitga qaytarish ekanligi o‘rganiladi. Rezonator o‘zi lazer nurini generatsiyalashda musbat teskari bog‘lovchi vazifasini bajaradi, optik rezonatorlarning 3 turi va ularning vazifasini umumiy yoritdim

**FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI:**

1. Raximov. U. A., Otaqulov V. O. "Elektrodinamika va nisbiylik nazariyasi"
2. O. Axmadjonov "Fizika kursi" 3-qism, Toshkent " O‘qituvchi" nashriyoti, 1987-1988
3. Matneev A. N. "Elektrodinamika"
4. G. S. Landsberg "Optika", Toshkent "O‘qituvchi" nashriyoti 1980y

**Axborot manbaalari**

1. <http://www.ippe.obninsk.ru/podr/cjd/>
2. <https://sites.google.com>
3. <http://cdfc.sinp.msu.ru/index.ru.html>
4. <http://www.nndc.bnl.gov>